

UNIVERSIDADE DO MINHO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E RECURSOS DO MAR

CURSO DE LICENCIATURA em
ENGENHARIA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

RELATÓRIO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ANO LETIVO 2018/2019 – 4º ANO

**Tema: Análise da microgeração da energia elétrica através
do exercício físico – Caso de Estudo Ginásio Energia**

Autora: Madile Ramos Lopes da Cruz Zêgo, N.º 3507

Orientadora: Mestre Susana Maria Carvalho de Castro

Mindelo, 2019

**CURSO DE LICENCIATURA EM
ENGENHARIA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS**

**RELATÓRIO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ANO LETIVO 2018/2019 – 4º ANO**

**ANÁLISE DA MICROGERAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DO
EXERCÍCIO FÍSICO**

AUTORA: MADILE RAMOS LOPES DA CRUZ ZÊGO, Nº. 3507

ORIENTADORA: MESTRE SUSANA MARIA CARVALHO DE CASTRO

Mindelo, Setembro de 2019

MADILE RAMOS LOPES DA CRUZ ZÊGO

**ANÁLISE DO POTENCIAL DA ENERGIA ELÉTRICA
ATRAVÉS DO EXERCÍCIO FÍSICO**

Projeto de trabalho de conclusão do curso,
apresentado à Universidade do Mindelo, como
requisito final para a obtenção do grau de
Licenciada em Engenharia em Energias
Renováveis.

Orientadora: Mestre Susana Maria Carvalho de
Castro

Mindelo, Setembro de 2019

Resumo

Este trabalho tem como base a microgeração humana, que é o aproveitamento da força humana para a produção da energia elétrica, mais concretamente a produção da energia elétrica a partir da energia mecânica humana dissipada no exercício físico. O equipamento em análise neste trabalho são as bicicletas *spinning* de um ginásio local em que o objetivo primordial é analisar o potencial da energia gerada, tendo em conta vários cenários, para a geração da energia elétrica. Esta energia é utilizada para suprir as necessidades energéticas do ginásio. O sistema apresenta-se como alternativa para a redução do consumo de energia, gerada a partir de combustíveis fósseis.

O estudo é feito em um ginásio local, com um consumo mensal energético médio de 551.7 KWh. A estimativa do potencial energético é feita considerando dois casos de utilização das bicicletas. Num destes casos é considerado a utilização de uma bicicleta por seis horas por dia sendo possível produzir 9.3 KWh de energia elétrica. No outro caso é utilizado todas as bicicletas do ginásio, numa aula *spinning*, com duração de uma hora, gerando 20.15 KWh de energia. Para qualquer um dos casos calculados a produção da energia elétrica é capaz de suprir a necessidade energética do ginásio, com períodos de amortização de investimentos aceitáveis.

Palavras-chaves: Microgeração Humana; Potencial Energético; Exercício Físico.

Abstract

This assignment is based on human micro generation, which is the harnessing of human force for the production of electric energy, specifically the production of electric energy from the human mechanical energy dissipated in physical exercise. The equipment under analysis in this assignment is the spinning bikes of a local gym where the primary objective is to analyze the potential of the generated energy, taking into account various scenarios, for the generation of the electric energy. This energy is used to meet the energy needs of the gym. The system is presented as an alternative for reducing energy consumption generated from fossil fuels.

The study is done at a local gym with an average monthly energy consumption of 551.7 KWh. The estimation of the energy potential is made considering two cases of bicycle use. In one of these cases the use of a bicycle is considered for six hours a day and it is possible to produce 9.3 KWh of electricity. In the other case all the gym bikes are used in a one-hour spinning class, generating 20.15 KWh of energy. In either case calculated the production of electricity is able to meet the gym's energy need, with acceptable investment amortization periods.

Keywords: Human Micro generation; Energy Potential; Physical exercise

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha avó Marcelina Ramos Lopes, que tanto lutou pela minha educação e nunca me deixou desacreditar.

Agradecimentos

Agradeço imensamente a Deus, autor do meu destino, companheiro de todos os momentos. Ele alimentou a minha alma com calma e esperança durante toda a jornada.

Aos meus avós, Marcelina e Américo Lopes, pelo amor incondicional, pelos ensinamentos e exemplos de força e determinação ao longo da vida.

À, minha mãe Cláudia Lopes, a minha eterna gratidão pelo dom da vida e pelo amor.

Aos meus tios Henrique Lopes, Jairson Lopes, Luís Lopes, Zenaida Lopes e Erson Lopes, eu jamais serei capaz de retribuir todo carinho, amor e incentivo que recebi de todos. Obrigada por sonharem junto comigo e tudo fazerem para alcançar este sonho.

À família Santos Monteiro, que num ambiente familiar me acolheram, minimizando as saudades do meu lar.

Aos meus amigos e colegas de formação, muito obrigada pelos conselhos, pelas ajudas, pelos incentivos, pelas chatices e risadas que tornaram esta caminhada académica única.

A todos os docentes que contribuíram na minha trajetória académica, especialmente à Mestre Susana Castro, responsável pela orientação do meu projeto.

À Universidade do Mindelo, por proporcionar um ambiente académico agradável para os estudos. Gratidão a todos os funcionários, ao corpo docente e à direção. De modo especial ao Coordenador e Professor Doutor, Eng.º João Dias.

À Ficase, pela bolsa de estudos, que me permitiu continuar os meus estudos.

*“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar,
não seremos capazes de resolver os problemas causados
pela forma como nos acostumamos a ver o mundo.”*

Albert Einstein

Índice Principal

Dedicatória.....	v
1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Justificativa do Tema	14
1.2. Objetivos.....	15
1.2.1. Objetivo Geral	15
1.2.2. Objetivos Específicos.....	15
1.3. Contributos do trabalho	15
1.4. Metodologia	16
1.5. Estrutura do trabalho.....	16
2. ESTADO DA ARTE.....	18
2.1. A Energia – História	18
2.2. Matriz Energética Mundial	19
2.3. Contextualização Energética de Cabo Verde.....	24
2.3.1. Micro Produção - Decreto-Lei nº 54/2018	28
2.4. Microgeração Humana.....	29
2.4.1. Tecnologias de microgeração humana no mundo	32
2.5. Conversão de Energia Mecânica em Energia Elétrica.....	36
2.5.1. Máquinas Elétricas	37
2.5.2. Geradores de Corrente Alternada	38
2.5.3. Geradores de Corrente Contínua	40
3. ESTUDO DE CASO – GINÁSIO ENERGIA	41
3.1. Descrição	41
3.2. Consumo energético	42
3.3. Estimativa do potencial energético	44
3.4. Dimensionamento do Sistema	46
3.4.1. Gerador Escolhido	48
3.5. Quantificação da energia elétrica produzida e sua utilização	51
4. RESULTADOS FINAIS E DISCUSSÃO	55
5. RECOMENDAÇÕES	57
6. CONCLUSÃO	58
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

Índice de Figuras

Figura 1.1: Fluxograma da Metodologia	16
Figura 2.1: Fontes de Energia.....	19
Figura 2.2: Caminhos da Energia	20
Figura 2.3: Produção Energética Mundial	21
Figura 2.4: Contribuição de E. Solar e Eólica na geração de Eletricidade.....	22
Figura 2.5: Consumo de Energia Elétrica Mundial	23
Figura 2.6: Quotas das E. Solar e Eólica na Eletricidade	24
Figura 2.7: Produtores de Energia, respetivas capacidades e Sistemas de Produção	25
Figura 2.8: Energia Produzida e entregue à Rede	26
Figura 2.9: Cenários de Procura Energética	27
Figura 2.10: Estimativa de Produção a partir das Energias Renováveis	28
Figura 2.11: Steppers.....	31
Figura 2.12: Bicicleta estacionária e Esteira Rolante	31
Figura 2.13 a) Bateria auto carregável de material piezoelétrico.	32
Figura 2.14: Utilização da AMPY Move	33
Figura 2.15: SOLEPOWER.....	34
Figura 2.16: Esquema de energia gerada pela Pavegen.....	34
Figura 2.17: Placas Pavegen.....	35
Figura 2.18: Magnata pedalando o Free Bike.....	36
Figura 2.19: Máquina elétrica com rotor e estator.....	38
Figura 3.20: Localização Geográfica.....	41
Figura 3.21: Bicicletas Spinning	42
Figura 3.22: Força aplicada no pedal da bicicleta	44
Figura 3.23: Diagrama da relação de velocidades	46
Figura 3.24: Gerador HENRYD.....	49

Índice de Tabelas

Tabela 1: Energia dissipada por atividade	30
Tabela 2: Equipamentos e Máquinas elétricas do ginásio	42
Tabela 3: Consumo energético mensal do ginásio	43
Tabela 4: Potencial energético.....	45
Tabela 5: Dimensões dos componentes mecânicos.....	47
Tabela 6: Características do gerador	49
Tabela 7: Energia elétrica gerada nas aulas spinning.....	51
Tabela 8: Energia elétrica gerada pela utilização de diferente nº de bicicletas	52
Tabela 9: Custo de produção de um sistema	53
Tabela 10: Resumo dos resultados obtidos	55

Índice de Abreviaturas e Símbolos

AC – *Alternate Current* (Corrente Alternada)

AEB – Águas e Energia de Boavista

APP – Águas de Ponta Preta

ARE – Agência de Regulação Económica

ARME – Agência de Regulação Multisectorial de Economia

COP21 – 21^a Conferência das Partes

CO₂ – Dióxido de Carbono

DC – *Direct Current* (Corrente Contínua)

E – Energia

Ec – Energia Cinética

ECV – Escudos Cabo-Verdianos

Em – Energia Mecânica

Ep – Energia Potencial

GEE – Gases de Efeito Estufa

GPL – Gás de Petróleo Liquefeito

GW - Gigawatt

H – Hora

J – Joule

Kg – Quilograma

Kmh – Quilómetro por hora

kWh – Quilowatt por Hora

LCD - *Liquid Crystal Display* (Tela de Cristal Líquido)

m – massa

m – metro

Mt – Milhão de tonelada

Mtep – Milhão de tonelada equivalente de Petróleo

MW – MegaWatt

Mwh – Megawatt por hora

PIB – Produto Interno Bruto

PVDF – Fluoreto de Polivinilideno

rad – radianos

rpm – rotação por minuto

rps – rotação por segundo

s – segundos

TWh – TeraWatt hora

W - Watt

v – velocidade

Capítulo I

1. INTRODUÇÃO

O consumo energético a nível mundial é elevado e tende a aumentar com o acréscimo populacional. Ao longo da história da humanidade este consumo fez-se de várias formas, desde antigamente, de modo elementar e até os dias de hoje, com recurso a tecnologias avançadas. Pode-se afirmar que a tecnologia e o consumo energético têm uma evolução intrinsecamente relacionada.

Na década de 80, houve uma revolução energética causada pelo aumento acentuado do preço do petróleo. A acompanhar este aumento, houve também o chamado “pico do petróleo”, que é o desnível entre a quantidade de petróleo produzido e o petróleo disponível nas reservas recém-descobertas. Neste contexto tornou-se necessário suprir a necessidade energética mundial, mas também limitar as mudanças climáticas causadas pelos gases de efeito estufa (GEE), provenientes da queima dos combustíveis fósseis. Perante esta conjuntura, o Homem necessitou pensar e criar novas alternativas para substituir o petróleo por fontes de energia mais baratas e limpas, as energias renováveis. Na história da matriz energética mundial, nunca houve uma transição devido ao esgotamento de nenhuma fonte de energia mas sim por se identificar uma nova fonte com qualidades superiores e custos inferiores (Sachs, I. 2007).

Atualmente o Homem procura alterar os seus hábitos de consumo, para que possa alcançar a sustentabilidade energética. Portanto, todas as formas de produzir, economizar e reutilizar a energia são relevantes, uma vez que haja garantia da sua renovabilidade e consequente sustentabilidade. De entre várias fontes de energia renovável para produção de energia elétrica, o aproveitamento da energia gerada pelo próprio ser humano, dissipada em atividades diárias, mostrou-se uma realidade tangível. Diariamente, por toda a parte, milhões e milhões de pessoas andam, saltam e correm. Esses movimentos dos seres humanos geram energia, a denominada energia mecânica. Essa energia pode ser aproveitada e transformada em energia elétrica, facto que tem motivado uma aposta forte no desenvolvimento de várias tecnologias para fazer o seu aproveitamento e conversão.

1.1. Justificativa do Tema

O desenvolvimento económico e social nos remete a uma crescente demanda energética. Enquanto nos países desenvolvidos o consumo de eletricidade chega a dez mil KWh por pessoa, nos países em desenvolvimento, onde está a maior parte da população mundial, este consumo é menor que dois mil KWh por pessoa. A aspiração ao desenvolvimento da maior parte da população mundial, só será uma realidade quando a matriz energética de cada país tiver maior eficiência e sustentabilidade (InterAcademy Council, 2007).

Cabo Verde sendo um país insular, com alguma ineficiência no setor energético e dependente de importações de combustíveis fósseis, necessita encontrar alternativas para ter segurança, eficiência e sustentabilidade neste setor. Estes fatores fazem com que o custo da eletricidade seja elevado, cerca de 70% superior à União Europeia (Brito, J. 2008).

No âmbito deste trabalho está a análise da microgeração da energia elétrica, a partir do acionamento de aparelhos de exercício físico, mais concretamente as bicicletas *spinning*¹ de um ginásio. Enquanto as pessoas exercitam, aproveita-se da energia dissipada para gerar energia elétrica para o ginásio, e para tal é necessário adaptar os aparelhos existentes. Esta tecnologia foi criada há poucos anos e como tal ainda está na fase inicial da sua evolução. Não obstante já existem vários exemplos desta tecnologia implementados no mundo.

O país tem forte tradição no que concerne à prática desportiva e a prática de exercícios físicos nos ginásios vem ganhando maiores dimensões, por conseguinte, considera-se que poderá ser pertinente averiguar o potencial energético associado a esta prática.

¹ *Spinning* ou ciclismo *indoor* é uma aula de ciclismo, feita em grupo em uma bicicleta ergométrica desenhada especialmente para esta modalidade, que surgiu no final dos anos 80 nos EUA (Silva, D. ?)

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar o potencial da microgeração da energia elétrica, a partir da energia humana dissipada nas bicicletas *spinning* de um ginásio local.

1.2.2. Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, propõem-se os seguintes objetivos específicos:

- Fazer a revisão da literatura disponível;
- Recolher os dados do consumo energético do ginásio;
- Calcular o potencial energético das bicicletas;
- Verificar as tecnologias de conversão de energia cinética;
- Identificar a penetração da energia elétrica produzida;
- Selecionar a tecnologia de conversão mais viável;
- Estudar a viabilidade económica do investimento;
- Analisar os resultados obtidos.

1.3. Contributos do trabalho

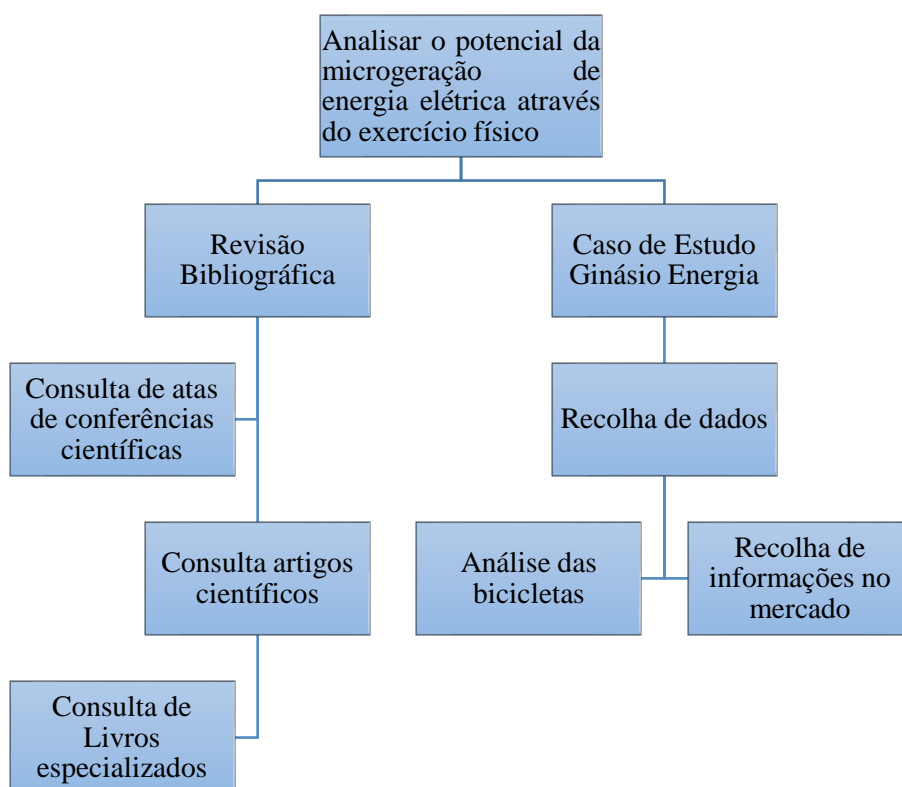
O grande foco deste é mostrar as diferentes formas de energia possíveis para minimizar o consumo dos combustíveis fósseis no país, e mesmo que esta área ainda esteja pouco desenvolvida é uma alternativa bastante promissora.

Sendo que cada vez mais as pessoas têm preocupações com a saúde e com a própria estética do corpo, poderá ser extremamente rentável trabalhar em aparelhos que consigam aproveitar toda essa energia. Trazer o conceito de “*Green Gym*” para o seio da população e sensibilizar os utilizadores sobre a problemática da geração e poupança da energia, bem como da proteção ambiental.

1.4. Metodologia

A metodologia deste trabalho consiste em pesquisa de natureza exploratória, utilizando principalmente fontes primárias e secundárias. Os resultados são apresentados de forma quantitativa. As especificações da metodologia estão no fluxograma que se segue.

Figura 1.1: Fluxograma da Metodologia



Fonte: Elaboração própria (2019)

1.5. Estrutura do trabalho

Este trabalho divide-se em quatro capítulos. No primeiro capítulo faz-se o enquadramento e a motivação da escolha do tema. Apresenta-se também os objetivos traçados para este trabalho, bem como os contributos que se espera com este e a metodologia utilizada para realização deste estudo.

No segundo apresenta-se de uma forma geral o conceito da energia, da microgeração humana com ênfase no aproveitamento para a geração da energia elétrica. Particularizando o caso de utilização das bicicletas *spinning*.

O terceiro capítulo é aquele em que se apresenta o caso de estudo, feito num ginásio da ilha. É feita a descrição do ginásio em que é feito este estudo. São apresentados os cálculos do potencial energético, e o sistema de conversão da energia.

A discussão dos resultados obtidos, as considerações finais e as recomendações são feitas no quarto capítulo.

Capítulo II

2. ESTADO DA ARTE

2.1. A Energia – História

A forma de energia utilizada pelo Homem, pela primeira vez, foi a do seu próprio corpo na luta pela sobrevivência. Os Homens das cavernas descobriram as utilidades do fogo para a sua alimentação e proteção, a maior descoberta pré-histórica. Posteriormente veio a utilização da energia dos animais domésticos para realizar os trabalhos mais pesados, como arar a terra e para o transporte. O aproveitamento da energia dos ventos possibilitou a descoberta de novos continentes, e a força da água em moinhos para transformar alimentos (Union of Concerns Scientists, ?). Mais tarde no século XVIII, com a invenção da Máquina a Vapor, deu-se início à Era da Revolução Industrial na Europa (Abrams, M. 2012).

Na final do século XIX, passou-se a utilizar novas fontes de energia, o petróleo e a eletricidade. Surgiu também os motores de combustão interna e geradores elétricos. O consumo da energia elétrica, a evolução tecnológica e a mudança no estilo de vida da população aumentou o consumo energético mundial, que ia duplicando a cada 10 anos. A crescente procura de energia originou a construção de grandes centrais elétricas, principalmente centrais térmicas e também foram construídas centrais nucleares (Union of Concerns Scientists, ?).

No século XX, houve uma crise petrolífera, que fez com que a energia fóssil deixasse de ser barata. Houve esperanças de que a energia nuclear substituísse os fósseis, mas por questões económicas, de segurança e riscos de radioatividade, não se mostrou uma boa alternativa. A sustentabilidade ambiental e económica da produção e consumo da energia passou a ser uma preocupação, e houve a consciencialização da natureza finita dos combustíveis fósseis.

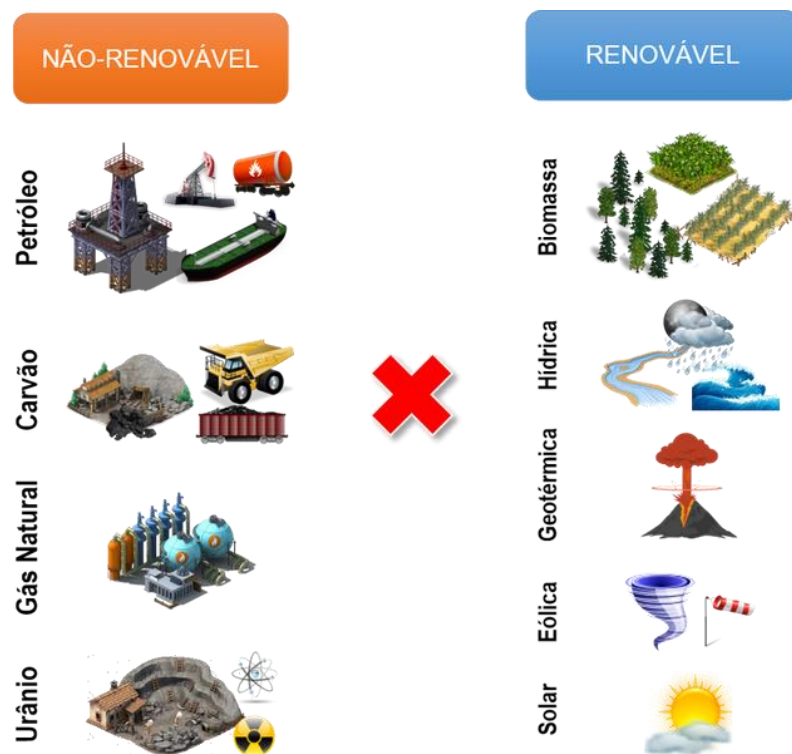
Este cenário fomentou novamente o interesse pelas fontes renováveis de energias, que são simultaneamente, as fontes energéticas mais antigas e mais modernas usadas pelo Homem. As fontes de energia renovável são as que a sua existência não é comprometida pelo seu uso contínuo e estão normalmente associadas a um baixo impacto ambiental (Castro, R. 2012).

Com esta mudança de paradigma são vários os países que tem vindo a apostar nas fontes renováveis de energia.

2.2. Matriz Energética Mundial

A produção energética mundial é sustentada por várias fontes de energia. Elas se dividem em dois macro grupos: as energias renováveis e as não renováveis, mostrados na Figura 2.1. As energias renováveis são naturalmente renovadas, no entanto, o conceito de renovável depende diretamente da escala temporal que se utiliza para mensurar estes recursos, sendo que devem ser considerados dentro de uma escala humana de tempo. O Sol é considerado uma fonte inesgotável, mas sabe-se que em alguns bilhões de anos este poderá se extinguir, porém na escala de tempo humana podemos tranquilamente considerá-lo uma fonte infinita. É importante notar que nem todo recurso natural é renovável, por exemplo, o petróleo é retirado da natureza, porém existe em quantidade limitada dentro da escala humana de tempo, pois leva centenas de anos para serem repostos pelo planeta.

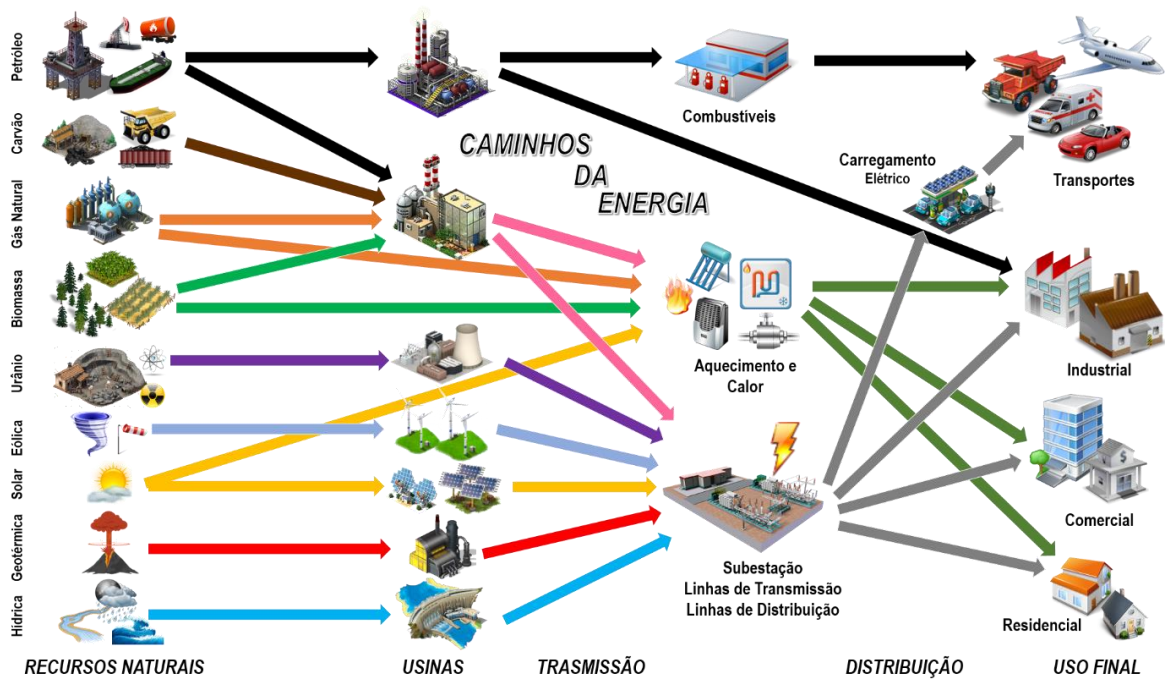
Figura 2.1: Fontes de Energia



Fonte: Elkkon Engenharia (?)

A energia elétrica é a forma mais comum de energia que se conhece e se utiliza, por ser relativamente fácil de transportar e de converter em outras energias. Um dos grandes problemas da eletricidade é não poder ser armazenada em períodos muito longos, implicando que a sua produção seja adaptada a cada instante ao consumo. A Figura 2.2 mostra um esquema do caminho da energia desde sua fonte primária, passando pela transformação em energia elétrica e sendo distribuída até os pontos de consumos final (Elkkon Engenharia).

Figura 2.2: Caminhos da Energia



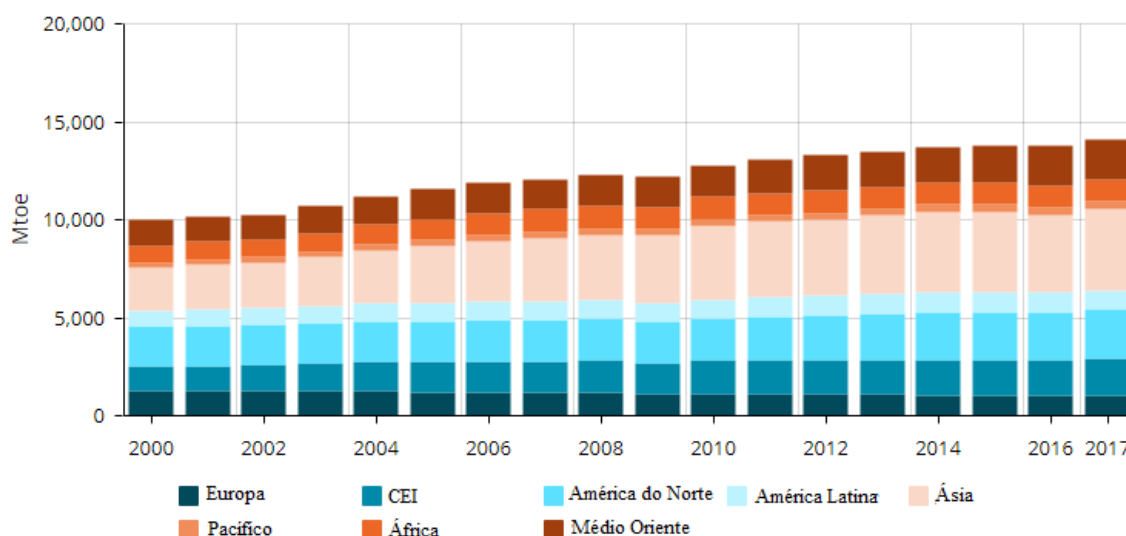
Fonte: Elkkon Engenharia (?)

O disseminar do consumo de energia elétrica a nível mundial, aliada com a evolução tecnológica, fez aumentar o consumo energético. Um consumo que não é igual em todos os países, sendo muito superior nos países industrializados

Na produção global de energia, a China foi o principal contribuinte para o aumento desta, com a produção de carvão a crescer em 2017 após três anos de redução. Os maiores preços globais de energia impulsionaram a produção de petróleo e gás nos Estados Unidos, após a queda de 2016. A produção de energia continuou a diminuir na União Europeia, devido ao crescimento moderado do consumo de energia, à menor produção de eletricidade primária (nuclear e hídrica) ao esgotamento dos recursos de petróleo e gás e à política climática que

implica a saída do carvão. Os grandes países exportadores de petróleo e gás (Rússia, Irão após o fim das sanções internacionais, Canadá ou Nigéria, em menor escala), bem como os países em rápido desenvolvimento (Índia, Indonésia, Turquia e Brasil) têm sido os principais contribuintes para o aumento da produção de energia em 2017. A Fig. 2.3 apresenta o gráfico desta produção global de energia por regiões desde 2000.

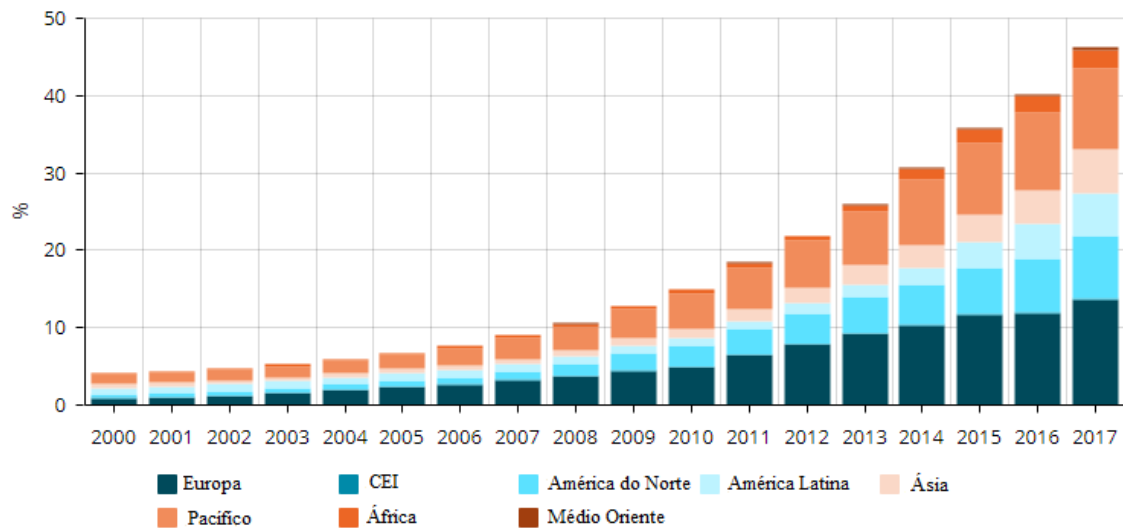
Figura 2.3: Produção Energética Mundial



Fonte: Enerdata (2019)

As fontes renováveis de energia, que vem crescendo rapidamente desde o final dos anos 2000, contribuíram em 25% na geração mundial de energia, crescendo cerca de 1 ponto percentual em 2017. A energia solar foi responsável por 20% da geração de energia adicional em 2017 e a energia eólica por 30%. As renováveis agora cobrem 1/3 da matriz energética na Europa, 1/4 na China e 1/6 nos Estados Unidos, Índia e Japão. A Figura 2.4 é o gráfico da produção de energia elétrica a partir das renováveis solar e eólica. A queda dos custos de produção nos últimos anos, associada a políticas ambiciosas - especialmente na Ásia - ajudou a instalar mais de 600 GW de capacidade solar e eólica desde 2010. A quota de energia eólica e solar, continuaram a progredir em todas as regiões em 2017, com um aumento acelerado na União Europeia (Alemanha e Reino Unido), seguida da China, Brasil, Estados Unidos, Índia e Japão (Enerdata 2019).

Figura 2.4: Contribuição de E. Solar e Eólica na geração de Eletricidade

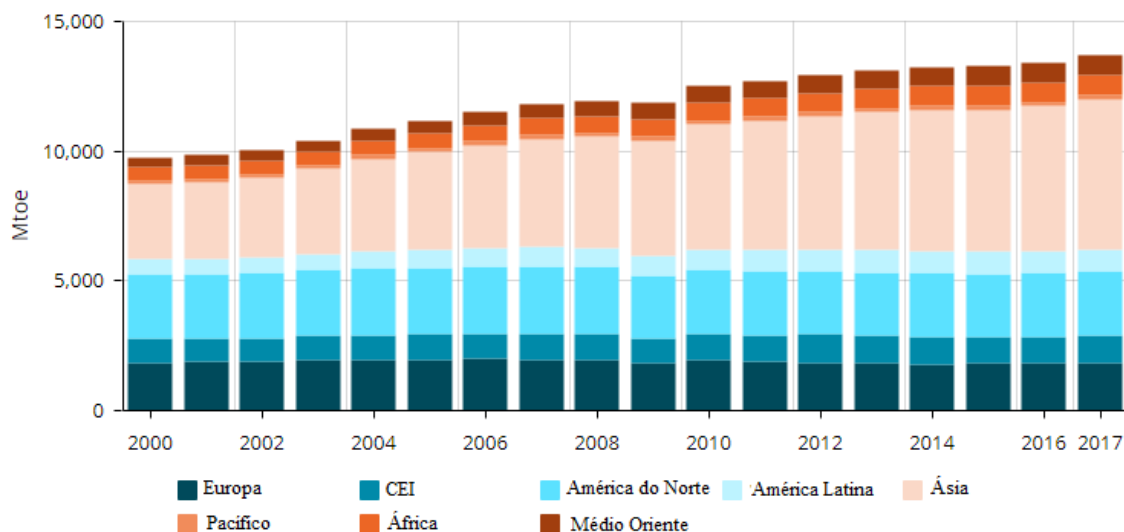


Fonte: Enerdata (2019)

O consumo global de energia aumentou de 10 016 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep²) em 2000, para 12 189 Mtep em 2009 e 14 126 Mtep em 2017. China tornou-se o maior consumidor mundial de energia em 2009, com 2297 Mtep, ultrapassando os Estados Unidos da América, com 2165 Mtep, mantendo este título até 2017 com um consumo de 3105 Mtep. Relativamente á eletricidade o consumo vem crescendo a um ritmo maior em relação às outras formas de energia. Ásia é a região que tem vindo a registar um acréscimo acentuado do consumo de energia elétrica de 6 869 TWh (TeraWatt hora) em 2009 para 9 777 TWh, enquanto os Estados Unidos têm mantido o seu consumo estável devido a melhorias na eficiência energética, com decréscimo em 2015 (4 426 TWh) e 2017 (4 379 TWh). Na União Europeia o consumo também se manteve estável, crescendo apenas na Turquia (Enerdata,2019). No gráfico da Figura 2.5 estão dados do consumo por regiões mais detalhado.

² A tonelada equivalente de petróleo (tep) é uma unidade de energia que define o calor libertado na combustão de uma tonelada de petróleo cru, são aproximadamente 42 giga joules.

Figura 2.5: Consumo de Energia Elétrica Mundial

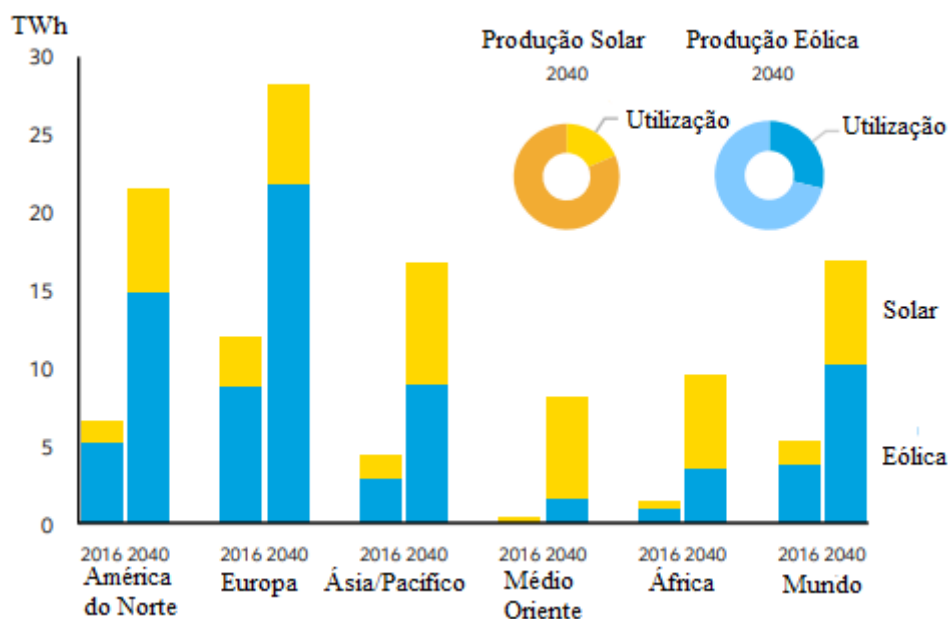


Fonte: Enerdata (2019)

A procura global de energia tende a aumentar cerca de 25% até 2040, refletindo a ligação entre a prosperidade crescente e a melhoria nos padrões de vida para uma população crescente em todo o mundo. Se este acréscimo acompanhar a estimativa de crescimento do Produto Interno Bruto (PIB), poderá aumentar até quatro vezes o valor já projetado. A economia e urbanização em expansão da região Ásia-Pacífico farão com que esta região seja basicamente a maior responsável pelo crescimento do consumo energético mundial.

Com o crescimento nesta díade produção/consumo energético crescem também as emissões de carbono, com a China emitindo em 2017 cerca de 9 297 MtCO₂ (Milhões de toneladas de dióxido de carbono), seguido dos Estados Unidos com 5 073 MtCO₂ e Índia com 2 234 MtCO₂. As políticas para mitigarem as mudanças climáticas, melhorias na eficiência energética farão com que este acréscimo não seja tão exacerbado bem como a redução de custos de produção das renováveis. A participação da energias solar e eólica, na produção da eletricidade deverá triplicar até 2040, passando de 5% em 2016 para 17%, provocando um decréscimo de 30% nas emissões de CO₂. A Figura 2.6 apresenta uma projeção da penetração de energias solar e eólica na eletricidade, pelo mundo (Exxonmobil, 2018).

Figura 2.6: Quotas das E. Solar e Eólica na Eletricidade



Fonte: Exxonmobil (2018)

2.3. Contextualização Energética de Cabo Verde

Cabo Verde é um país insular, constituído por dez ilhas, nove habitadas por cerca de 491 683 habitantes. Cada ilha com um sistema energético com características próprias de procura de energia.

A energia consumida em Cabo Verde é gerada maioritariamente por derivados do petróleo (GPL - Gás de Petróleo Liquefeito, gasolina, petróleo, gasóleo, fuel óleo e Jet A1) e pelas energias renováveis (biomassa, energia solar e energia eólica).

A principal empresa a operar no setor elétrico em Cabo Verde é a empresa de eletricidade e água – ELECTRA S.A., empresa pública que tem a concessão da rede elétrica de distribuição e opera as maiores centrais de produção de todas as ilhas. Setor este que é regulado, desde 2004, pela Agência de Regulação Económica (ARE), atual Agência Reguladora Multissetorial de Economia (ARME). Exceto a ilha da Boavista onde opera a empresa público-privada Águas e Energia de Boavista (AEB). Na ilha do Sal opera, desde 2005, ainda a empresa Águas de Ponta Preta (APP), empresa de tratamento de água e energia.

Na área das energias renováveis o maior produtor de energia elétrica de origem eólica é a Cabeólica, S.A. uma empresa de parceria público-privada que iniciou a sua atividade em Cabo Verde em 2009 com a instalação de 4 parques eólicos, num total de 25.5 MW, nas ilhas de São Vicente, Sal, Boavista e Santiago. A empresa privada Electric Wind desenvolveu e tem explorado um Parque Eólico de 2 unidades de 250 kW cada, na ilha de Santo Antão. A Electra, S.A. adquire a energia produzida pela Cabeólica e pela Electric Wind e comercializa na sua rede de distribuição dado que esta única rede do país (CvTradeInvest, 2018).

A Figura 2.7 mostra a energia renováveis produzida em 2017 em cada ilha, e os seus respetivos sistemas de produção.

Figura 2.7: Produtores de Energia, respetivas capacidades e Sistemas de Produção

Produtores	Potência Instalada, MW	Energia Produzida em 2017, KWh	Sistema de Produção
Electra, S.A. (*) Santo Antão São Vicente S. Nicolau Sal Maio Santiago Fogo Brava Total	8,8 28,7 4,22 13,55 1,376 88,275 7,0 1,056 152,977	14.302.907 74.002.153 6.569.879 56.540.041 2.708.270 224.997.317 13.418.555 2.683.872 395.222.994	- Produção térmica (13 Centrais) - Produção eólica (1 Parque eólico) - Produção solar fotovoltaico (2 parques solares)
Cabeólica, S.A. (*) São Vicente Sal Boavista Santiago Total	5,95 7,65 2,55 9,35 25,5	18.264.000 17.227.000 7.883.000 32.052.000 75.426.000	Produção eólica (4 Parques eólicos, compostos por 30 turbinas)
Águas e Energia de Boavista	15,104	31.408.615	- Produção térmica - Produção eólica
Águas de Ponta Preta (Sal)	6,2	26.105.687	- Produção Térmica (1 Central elétrica) - Produção eólica (2 Parques eólicos) Produção solar fotovoltaico (2 parques solares)
Electric Wind (Santo Antão)	0,5	760.908	Produção Eólica (2 unidades eólicas)

Fonte: CvTradeInvest (2018)

A Figura 2.8 indica a quantidade de energia injetada na rede pública de energia a partir das renováveis, cerca de 17% da produção.

Figura 2.8: Energia Produzida e entregue à Rede

Produtores	Energia Produzida em 2017, KWh	Energia entregue à rede, KWh
Electra, S.A.		
Santo Antão	14.302.907	14.001.662
São Vicente	74.002.153	62.176.338
S. Nicolau	6.569.879	6.470.851
Sal	56.540.041	45.267.525
Maio	2.708.270	2.694.279
Santiago	224.997.317	202.181.990
Fogo	13.418.555	13.136.097
Brava	2.683.872	2.671.721
Total	395.222.994	348.600.463
Cabeólica, S.A		
Santiago	32.052.000	30.449.400
São Vicente	18.264.000	11.506.320
Sal	17.227.000	9.130.310
Boavista	7.883.000	6.069.910
Total	75.426.000	57.155.940
Águas e Energia de Boavista	31.408.615	34.656.743
Águas de Ponta Preta (Sal)	26.105.687	21.563.118
Electric Wind (Santo Antão)	760.908	760.908

Fonte: CvTradeInvest (2018)

A Figura 2.9 apresenta a estimativa de procura energética para os anos 2020, 2030 e 2040 para cada ilha projetado para cenários base, eficiente e elevados de procura.

Figura 2.9: Cenários de Procura Energética



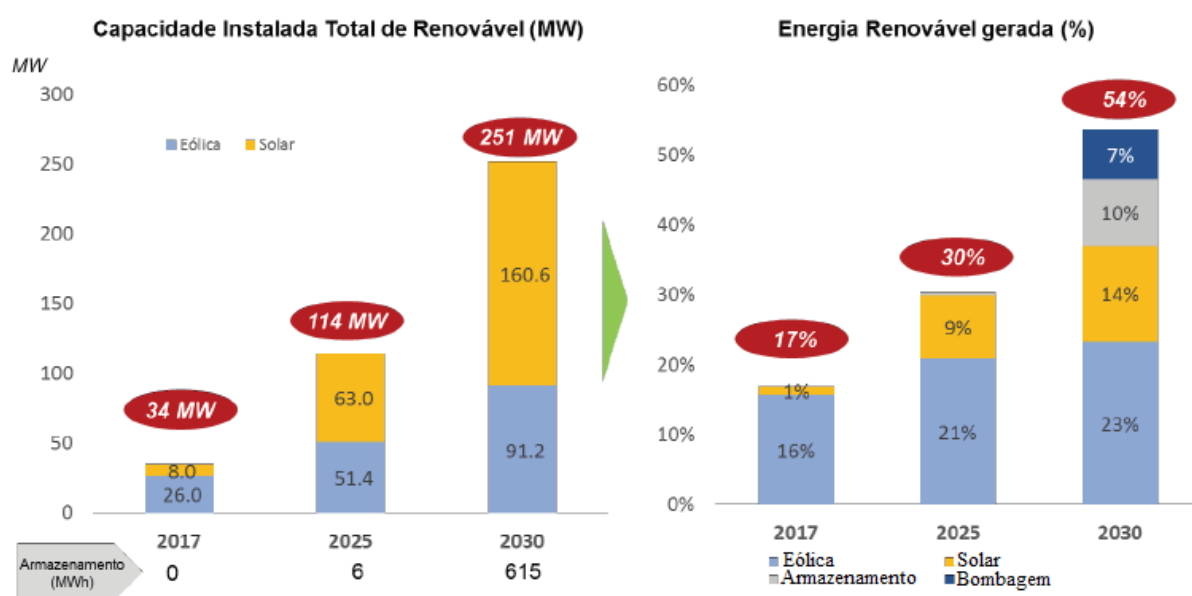
Fonte: Adaptado de Boletim Oficial da República de Cabo Verde (2019)

O país tem grande potencial de recursos renováveis, com os primeiros registos de utilização datados nos anos 70 e 80, tendo sido identificado em 2011 um potencial destes recursos em cerca de 2 600 MW de projetos em energias renováveis. Deste potencial, foram instalados projetos que juntos totalizam 650 MW. A geração de energia a partir destes recursos vem crescendo de forma tímida. Recentemente a sua exploração ganhou novos contornos impulsionado por compromissos assumidos por Cabo Verde no COP21 - Conferência das

Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas de 2015. O país elaborou o Plano Diretor do Sector Energético 2018 – 2040 estabelecendo objetivos tais como, a produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis em 30% até 2025 e superar os 50% até 2030.

A Figura 2.10 apresenta dois gráficos relativos às energias renováveis no país, o primeiro referente à potência das renováveis atualmente instalada, e a energia gerada com a suas respectivas prospeções para os anos 2025 e 2030 (Boletim Oficial da República de Cabo Verde 2019).

Figura 2.10: Estimativa de Produção a partir das Energias Renováveis



Fonte: Boletim Oficial da República de Cabo Verde (2019)

2.3.1. Micro Produção - Decreto-Lei nº 54/2018

O Governo procedeu à revisão do Decreto-lei nº1/2011 para melhor promover, incentivar e dar acesso ao exercício da atividade de produção independente e de auto produção de energia elétrica, com base em fontes de energia renováveis. No Decreto-lei nº 54/2018 de 15 de Outubro de 2018 fica estabelecido que sistemas de microprodução com potência total instalada inferior a 400 W ficam dispensados de registo no Sistema de Registo de Microprodução (SRM), enquanto os com potência superior deverão ser registados previamente.

Para efeitos de faturação, contabilidade e fiscalidade aplicável à microprodução, a concessionária considera apenas a compra do excedente de energia que o microprodutor injeta na rede. A compensação do valor do excedente de energia injetado pelo micro produtor é feita por dedução na faturação da energia consumida da rede no mesmo período. Os sistemas com potência instalada superior a 400 W, a tarifa de venda de eletricidade à rede é igual ao custo evitado de produção térmica do Sistema Elétrico Nacional, anualmente publicado pela ARME.

2.4. Microgeração Humana

O corpo humano é um grande armazém de energia (Paradiso, T. 2004) e o fato das pessoas utilizarem os seus músculos para converter a energia acumulada em trabalho mecânico (Donelan, M. *et al* 2008), remete a questões de por quê não usar esta fonte de energia para carregar aparelhos eletrônicos, ser fonte alternativa de energias de edifícios, etc.

Existe o conceito na física, que diz que o trabalho mecânico é a energia transferida para um sistema pela aplicação de uma força ou momento de força sobre o sistema ao longo de determinado percurso ou movimento de rotação (Dias, N. 2010).

A energia mecânica humana pode ser extraída e transferida para aplicações de energia elétrica de várias formas diferentes (Yildiz F., *et al* 2009). Durante a última década, cientistas e engenheiros de todo o mundo projetaram sistemas de coleta de energia sem precedentes, atraindo energia de várias fontes. (Mocanu, S. *et al* 2015).

Todas as atividades diárias do ser humano dissipam energia de alguma forma, como mostra a tabela 1 a potência gerada, em média, por pessoa em cada ação.

Tabela 1: Energia dissipada por atividade

Atividades Diárias	Potência (W)
Dormindo	81
Deitado Tranquilamente	93
Sentado	116
Em pé à vontade	128
Conversar	128
Comer uma refeição	128
Passear	163
Conduzir um carro	163
Tocar violino ou piano	163
Tarefas domésticas	175
Carpintaria	268
Caminhar na horizontal, 5 km	330
Andar de bicicleta a 16km/h	473
Nadar	582
Escalada de montanha	698
Corrida lenta	1048
Corrida em velocidade	1630

Fonte: Adaptada de Starner, T. e Paradiso, J., (2010); Completo, A. e Fonseca, F. (2011)

Atualmente já se desenvolveu várias formas de aproveitar e recuperar a energia produzida pelo corpo humano. Os materiais piezoelétricos³ já se encontram em vários locais, como por exemplo no chão, em ruas com pavimentos especial, campos de futebol para aproveitar a energia das pessoas a andar, pistas de dança onde se aproveita a energia das pessoas a dançar e nos aparelhos de ginásios em que a energia carrega baterias, sendo então possível alimentar o sistema luminoso do local (Dias, N. 2010).

Nos ginásios existem vários equipamentos de exercícios e muitas pessoas a treinarem diariamente para melhorar a sua condição física, um cenário de grande quantidade de energia dissipada. Alguns desses aparelhos, mostrados nas Figuras 2.11 e 2.12, têm diferentes níveis de dificuldade que permitem aos utilizadores ajustarem seu esforço e quando aumentarem a potência, mais energia deve ser gerada (Mocanu, S. *et tal* 2015).

³ A palavra “piezien” é de origem grega e significa pressionar. Piezoelectricidade é uma forma de gerar energia elétrica através de uma pressão exercida sobre certos cristais que de libertam eletrões proporcionalmente em resposta à pressão mecânica. Os irmãos Pierre e Jacques Currie, 1880, descobriram este efeito (Antunes, E. 2014).

Figura 2.11: *Steppers*



Fonte: Elaboração Própria (2018)

Figura 2.12: Bicicleta estacionária e Esteira Rolante



Fonte: Elaboração Própria (2018)

As bicicletas oferecem meios eficazes de exercício e são formas populares de transporte, a energia mecânica gerada por uma bicicleta em movimento é desperdiçada na forma de fricção e calor gasto, assim como nos *steppers* bem como na esteira rolante.

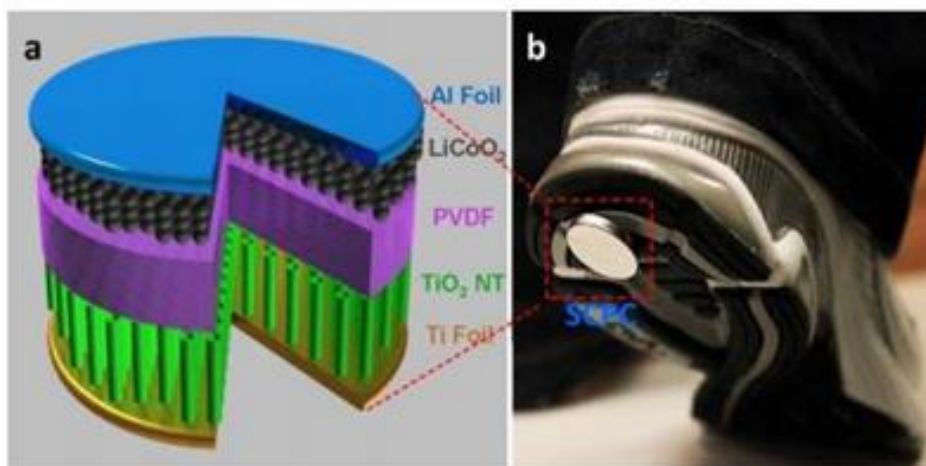
2.4.1. Tecnologias de microgeração humana no mundo

- Células piezoelétricas

Os investigadores da *Georgia Institute of Technology* em Atlanta, produziram um aparelho que gera e armazena energia e que a principal revolução é a conversão da energia mecânica diretamente em energia química. A bateria apenas pode ser usada em pequenos aparelhos eletrônicos. O filme de PVDF (fluoreto de polivinilideno⁴) presente faz com que os íons de lítio migrem do cátodo para o ânodo que permite manter o equilíbrio da carga da bateria. A presença deste filme de PVDF gera carga quando se aplica uma certa tensão e esta migração dos íons é o que faz ser possível carregar a bateria sem necessidade de uma fonte de tensão externa, como mostra a Figura 2.13 (Zyga, L. 2015).

Figura 2.13 a) Bateria auto carregável de material piezoelétrico.

b) Bateria colocada em baixo de um sapato para converter a energia química e armazená-la



Fonte: Zyga, L.(2015)

⁴ Foi descoberto por Kawai em 1969, é um polímero que se torna altamente piezoelétrico após ser mecanicamente estirado e submetido à ação de um campo elétrico, com excelente estabilidade química e resistência mecânica (Gonzaga, R. 2014).

- **AMPY Move**

Criado em 2014, este aparelho é uma bateria portátil que se carrega com o movimento de ímãs internos que geram corrente que é então armazenada na bateria. Pelo seu tamanho é possível andar com ele no bolso, amarrá-lo aos membros quando se pratica alguma atividade física ou realizar qualquer movimento. Pode ser transportado numa mochila ou carteira e armazena a energia de cada movimento que o portador faça, assim quanto mais a pessoa se mover mais energia será armazenada e, desta forma, é possível carregar aparelhos em qualquer altura. O dispositivo também pode ser carregado de forma convencional. Teoricamente uma hora de exercício com o AMPY, permitiria mais de uma hora de bateria para um *smartphone* em utilização normal, 5 horas de bateria se estiver em modo *stand by* e mais de 24 horas num *smart watch* (Ezshopex, 2014).

Figura 2.14: Utilização da AMPY Move



Fonte: Adaptada de Ezshopex.com (2019)

- **SOLEPOWER – Power by walking**

É uma palmilha que captura a energia do embate da sola no chão e converte-a em energia elétrica. Em cada passo um pequeno gerador que está na sola gira, gerando energia, que é conduzida por um pequeno cabo até a bateria, a “*Power Pac*”. A bateria pode fornecer energia a qualquer aparelho eletrónico portátil. Esta tecnologia é fiável e gera energia através do movimento (balanço) e do impacto. A sua eficiência não depende das condições climáticas como os aparelhos fotovoltaico. Com este dispositivo uma pessoa caminha cerca de 4 km e consegue carregar um *smartphone*. Este mecanismo atua em cada vez que o calcanhar toca no chão (Kickstarter PBC, 2019).

Figura 2.15: SOLEPOWER

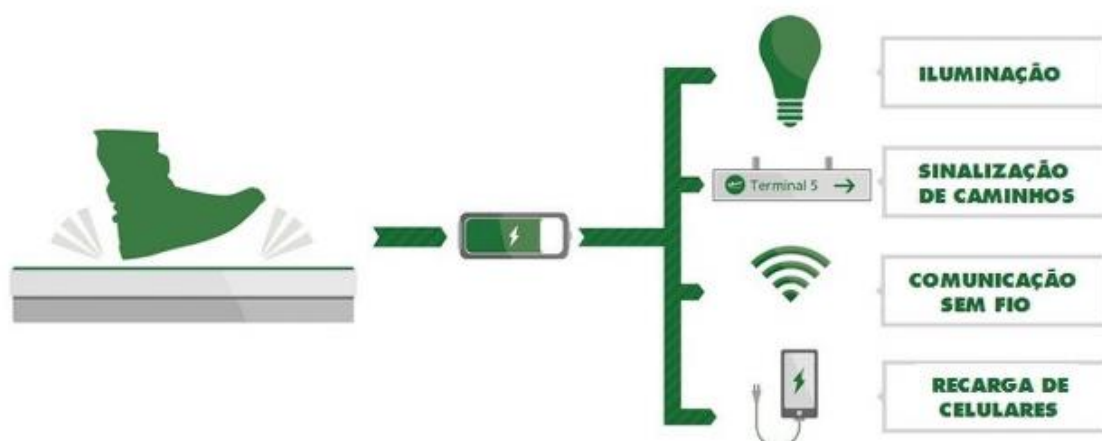


Fonte: Kickstarter PBC (2019)

- **PAVEGEN Systems – placas piezoelétricas**

A empresa Pavegen Systems foi fundada em 2009, por Laurence Kembell-Cook, que desenvolveu a tecnologia das placas Pavegen. As placas piezoelétricas são feitas com material reciclados e à medida que os pedestres pisam as placas, o peso de seus passos comprime os geradores eletromagnéticos em cerca de 5 mm, produzindo de 2 a 4 joules de energia elétrica. A energia gerada é utilizada de várias formas, como mostra a Figura 2.16.

Figura 2.16: Esquema de energia gerada pela Pavegen



Fonte: Teixeira, C. A. (2014)

Uma das formas de utilização destas placas que se tem destacado é nos campos de futebol. Tendo sido o projeto precursor materializado no Brasil, Rio de Janeiro, no Morro da Mineira no ano de 2014. Foram instaladas 200 placas revestidas de borracha de pneu de caminhão, cada pisada gera 2.1 W de energia podendo chegar a 7 W. A energia é armazenada em baterias de lítio por até três dias. O tempo de vida de cada placa é estimado em cinco anos ou 20 milhões de passos. A energia captada é monitorizada e analisada à distância via Wi-Fi (Economia, 2014).

Figura 2.17: Placas Pavegen



Fonte: Teixeira, C. A. (2014)

Já existem mais 5 mil placas geradoras da Pavegen instaladas em diversos locais: no Aeroporto de *Heathrow*, no oeste de Londres; na estação de trens em *Saint-Omer*, na França; nas sedes da Pavegen, da *Renaissance Works*, em Londres; na estação do metrô *West Ham* (durante as Olimpíadas de 2012), em Londres; na *Riverdale School*, em Nova Iorque entre outros lugares. Esta tecnologia apresenta ótimas perspectivas de expansão e contribuição na redução dos impactos ambientais (Teixeira, C.A. 2014).

- **Free Eletric**

Manoj Bhargava, conhecido através do documentário *Billions in Change*. A bicicleta especial chamada *Free Eletric*, foi difundida na Índia no ano de 2016, prometendo levar o acesso à energia limpa às pessoas que não a tinham. As primeiras 50 bicicletas foram testadas em 20 pequenas aldeias no norte do Estado de Uttarakhand. O magnata planeja implantar na Índia 10.000 de suas bicicletas que, depois de terem sido pedaladas por uma hora, garantirão um dia cheio de energia elétrica.

Figura 2.18: Magnata pedalando o Free Bike



Fonte: GreenMe.com (2018)

2.5. Conversão de Energia Mecânica em Energia Elétrica

A Energia Mecânica (E_m) de um sistema é definida pela soma da Energia Cinética (E_c) com a Energia Potencial (E_p). Em sistemas conservativos a energia mecânica permanece constante, a energia cinética se transforma em energia potencial e vice-versa, de modo que soma das duas não se altera. A E_m é uma grandeza escalar, cuja sua fórmula é:

$$E_m = E_c + E_p$$

A Energia Potencial (E_p) é a energia armazenada na massa, conforme o corpo perde energia potencial, ganha energia cinética ou vice-versa. A E_p possui dois tipos: a Energia Potencial Gravitacional, que é a energia que corresponde ao trabalho que a força peso realiza. Também

temos a Energia Potencial Elástica, que corresponde ao trabalho que a força elástica realiza (Carolina, A. *et al*, 2018).

A Energia Cinética corresponde à forma de energia que corpos em movimento possuem. Ela é proporcional à massa e à velocidade da partícula que se move. A massa (m) do corpo também é proporcional à força cinética. Ou seja, entre dois objetos de mesma velocidade, o mais pesado tem mais energia cinética e quanto maior o módulo da velocidade do corpo, maior é a energia cinética. Quando o corpo está em repouso, ou seja, o módulo da velocidade é nulo, a energia cinética é nula (Carolina, A. *et al*, 2018).

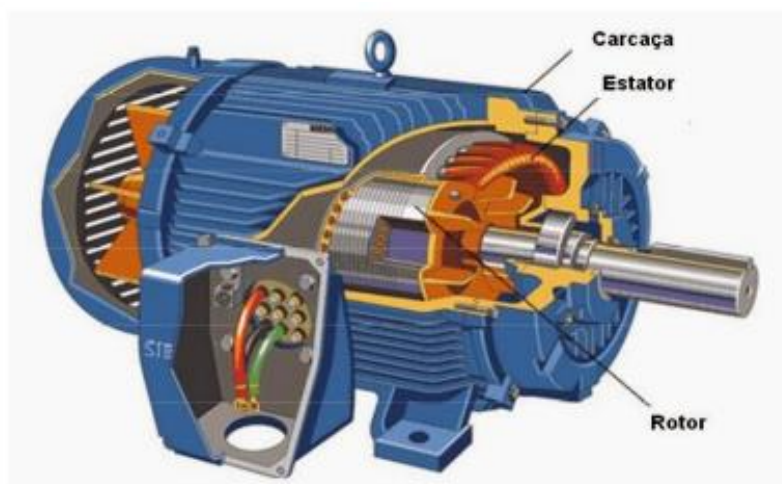
A conversão da energia mecânica em elétrica será realizada por intermédio de uma máquina elétrica instalada na bicicleta estacionária. A energia mecânica será fornecida pelos utilizadores que aplicam uma força aos pedais das bicicletas, e com isso promover a rotação do eixo do gerador, gerando com isso, energia elétrica. Podendo assim medir o rendimento do processo de conversão e calcular a quantidade de energia elétrica gerada.

2.5.1. Máquinas Elétricas

De modo simplificado, os geradores de energia elétrica são máquinas capazes de converter energia mecânica em energia elétrica. “A primeira indicação da possibilidade de intercâmbio entre energia elétrica e mecânica foi apresentada por Michael Faraday em 1831” (Kosow, I.L., 1972). A conversão eletromagnética de energia relaciona as forças elétricas e magnéticas do átomo com a força mecânica aplicada à matéria e ao movimento, resultando desta relação, a possibilidade de conversão da energia mecânica em energia elétrica, e vice-versa, através das máquinas elétricas.

As máquinas elétricas (motores ou geradores) são constituídas essencialmente por duas partes: o estator, conjunto de órgãos ligados rigidamente à carcaça e o rotor, sistema rígido que gira em torno de um eixo apoiado em mancais fixos na carcaça. Sob ponto de vista funcional distinguem-se o indutor, que produz o campo magnético, e o induzido que gera a corrente induzida.

Figura 2.19: Máquina elétrica com rotor e estator.



Fonte: Lenz, A.L. (2013)

Motor e gerador são máquinas reversíveis, isto é, quando se aplica uma tensão elétrica num motor obtém-se uma força mecânica em seu eixo, caso contrário, se seu eixo for girado a certa velocidade, o campo magnético induz uma tensão elétrica em suas bobinas, esse motor passa então a trabalhar como um gerador. Um motor é uma máquina que converte energia elétrica em energia mecânica de rotação. O gerador, por sua vez, é uma máquina que converte energia mecânica de rotação em energia elétrica. Os geradores podem ser de corrente alternada ou corrente contínua (Kosow, I.L., 1972).

2.5.2. Geradores de Corrente Alternada

- **Gerador síncrono**

O termo síncrono surge do fato de que a velocidade do rotor é proporcional à frequência de sua corrente de armadura. O rotor gira em sincronismo ou com uma mesma velocidade do campo magnético girante produzido pelas correntes de armadura.

O enrolamento de campo é alimentado por uma fonte de alimentação contínua, fornecendo para este, portanto, uma corrente contínua. Quando o rotor é posto para girar por uma fonte primária de energia, cria-se uma variação no fluxo magnético dos enrolamentos da armadura e conseqüentemente a geração de uma força eletromotriz na mesma.

Considerando que temos uma bobina A-B movimentando-se com velocidade constante em torno de um campo magnético indutor de intensidade B , os valores instantâneos de f.e.m gerados, podem ser expressos pela seguinte equação:

$$e = 2 \cdot 10^{-8} \cdot B \cdot l \cdot v \cdot \text{sen}\alpha$$

Onde,

e = Força eletromotriz gerada (Volts);

B = Campo magnético constante no tempo de indução (T);

l = Comprimento do condutor que corta as linhas de campo (m);

v = Velocidade linear do condutor (m/s);

$\text{sen}\alpha$ = Seno do ângulo entre a velocidade do condutor e as linhas de campo magnético.

Portanto, podemos perceber que se levarmos em consideração os valores instantâneos da f.e.m. gerada, a curva de representação destes valores é uma senoide. Temos, portanto, a geração de uma corrente alternada através deste gerador (Fitzgerald, A. E., *et tal.* 2003)

- **Gerador síncrono de íman permanente**

Muito semelhante ao gerador síncrono convencional, o gerador síncrono de íman permanente apresenta a diferença de não possuir enrolamentos de campo, sendo estes substituídos por ímãs permanente, que podem ser colocados tanto no rotor como no estator. O que significa que há uma pequena diferença entre a velocidade de movimento de campo girante do estator e o movimento do rotor. A corrente alternada será gerada diretamente nas bobinas do estator, dispensando assim a necessidade de escovas, o que permite que este gerador funcione sem necessidade de uma alimentação externa contínua (Fitzgerald, A. E. *et tal.* 2003).

- **Gerador assíncrono**

O gerador assíncrono tem construção semelhante com o gerador síncrono, enrolamento da armadura do estator é idêntico, já o enrolamento do rotor, que produz corrente alternada

induzida pelo enrolamento do estator, é formado por condutores de cobre ou alumínio fundidos no rotor. Uma característica importante desta máquina elétrica, é que tanto operando como motor ou gerador, o enrolamento de armadura precisa estar conectado a uma fonte de corrente alternada. Para funcionar como gerador, é necessário que se girar o rotor através de alguma força externa, em uma velocidade que exceda a velocidade síncrona (Kosow, I.L., 1972).

2.5.3. Geradores de Corrente Contínua

O princípio de funcionamento dos geradores de corrente contínua é muito parecido com o funcionamento dos geradores AC. Sendo que a estes geradores de corrente contínua estão associados comutadores ou ponte de díodos. Uma tensão alternada é produzida nas suas armaduras, causada pelo movimento relativo entre o campo magnético do estator e o campo magnético do rotor. Portanto, para ter uma tensão e corrente contínua através de qualquer gerador, necessita de um processo de retificação, que pode ser realizado por meio dos comutadores ou de ponte de díodos (Fitzgerald, A. E. *et tal.* 2003).

Capítulo III

3. ESTUDO DE CASO – GINÁSIO ENERGIA

3.1. Descrição

O ginásio Energia foi inaugurado a 6 de Janeiro de 2013, está situado na zona de Chã de Críquete, atrás do Comando da 1ª Região Militar.

Figura 3.20: Localização Geográfica



Fonte: Google Maps

O ginásio conta com mil pessoas inscritas, e cerca de trezentas praticam exercícios diariamente. Para além da musculação, existem aulas de grupo como o *spinning*, aulas de *step*, *cardio-fitness*, *hiit* e *cardio-dance*.

O ginásio dispõe de 13 bicicletas estacionárias ou bicicletas *spinning*, assim contabiliza-se 13 pessoas a exercitarem-se por aula. Estas aulas têm uma duração de 60 minutos e

acontecem cinco vezes por semana. Para além das aulas de grupo, os utilizadores do ginásio normalmente despendem alguns minutos nas bicicletas, para ativarem os músculos antes da musculação, por quinze minutos em média.

Figura 3.21: Bicicletas Spinning



Fonte: Autoria Própria (2019)

3.2. Consumo energético

A tabela 2 mostra os equipamentos elétricos que são utilizados no ginásio, a potência e o respetivo tempo de utilização.

Tabela 2: Equipamentos e Máquinas elétricas do ginásio

Quantidade	Equipamento	Potência (W)
26	Lâmpadas	20
1	Televisão	120
1	Aparelho de som	55
1	Aparelho de som	70
1	Frigorífico	250
1	Garrafeira	130
1	Liquidificador	300
7	Ventiladores de teto	140
3	Esteiras <i>Treadmill</i>	2237
2	<i>Steppers</i>	500

Fonte: Autoria Própria (2019)

Os dados da tabela 3, referente ao consumo energético são do ano de 2017 foram obtidos nas faturas mensais de água e eletricidade, facultados pelo ginásio.

Tabela 3: Consumo energético mensal do ginásio

Mês	Consumo (KWh)
Janeiro	526
Fevereiro	530
Março	614
Abril	703
Maio	623
Junho	728
Julho	603
Agosto	487
Setembro	64
Outubro	54
Novembro	1176
Dezembro	512

Fonte: Autoria Própria (2018)

O somatório do consumo de cada mês indica o consumo anual do ginásio.

$$\text{Consumo anual} = \Sigma \text{consumo mensal}$$

$$\text{Consumo anual} = 6\,620 \text{ KWh}$$

A média do consumo anual é dada por:

$$\begin{aligned} \text{Média}_{\text{anual}} &= \frac{\Sigma \text{Consumo mensal}}{12} \\ &= 551.7 \text{ KWh} \end{aligned}$$

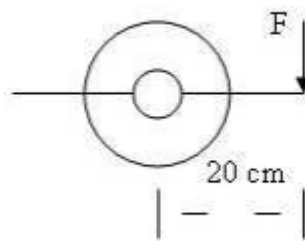
A média diária é:

$$\begin{aligned} \text{Média}_{\text{diária}} &= \text{Média}_{\text{Anual}}/30 \\ &= 18.38 \text{ KWh} \end{aligned}$$

3.3. Estimativa do potencial energético

Para efetuar estes cálculos deve-se saber a energia que uma pessoa é capaz de gerar. Segundo Osorio, A. (2007), uma pessoa adulta saudável, sem fazer a distinção de sexos, pode exercer uma força (F) de 30 Kg, a distância (d) do centro da engrenagem até o ponto de aplicação da força, como mostra a Figura 3.22 é de 0.20 m.

Figura 3.22: Força aplicada no pedal da bicicleta



Fonte: Osorio, A. (2007)

Assim se pode calcular o torque (T):

$$T = F \times d$$

Portanto o $T = 6 \text{ Kg.m}$, e admite-se que a velocidade é de uma rps (rotação por segundo).

De acordo com o mesmo autor a velocidade angular (ω) é 6.2832 rad/s, o cálculo da potência (P) fornecida é dado por:

$$P = T \times \omega$$

$$P = 370\text{w}$$

Para este valor aproximadamente, 0.5 HP⁵ (HorsePower), propõe-se dois casos de utilização das bicicletas estacionárias, para estimar o potencial energético em cada uma destas situações.

⁵ 1 W = 0.001341 HP

- **Caso 1**

Quando todas as treze bicicletas são utilizadas nas aulas de *spinning*, cerca de uma hora, durante cinco dias da semana.

$$E_{\text{dia}} = N^{\circ}_{\text{bicicletas}} \times P$$

$$E_{\text{dia}} = 4180 \text{ W}$$

Portanto, em uma aula *spinning* é gerada uma potência em torno de 4.2 KW de energia.

Assim calcula-se a produção mensal, tal que:

$$E_{\text{mensal}} = E_{\text{dia}} \times N^{\circ}_{\text{dias/mês}}$$

$$E_{\text{mensal}} = 109.2 \text{ KW}$$

A geração anual é:

$$E_{\text{anual}} = E_{\text{mensal}} \times N^{\circ}_{\text{meses/ano}}$$

$$E_{\text{anual}} = 1\,310.4 \text{ KW}$$

- **Caso 2**

Neste caso, as bicicletas em utilização estão sempre disponíveis para os utilizadores, que fazem o aquecimento, cerca de 15 minutos antes da musculação, por cinco dias da semana. Admite-se que o tempo de utilização da (s) bicicleta (s) totaliza seis horas diárias.

Tabela 4: Potencial energético

Nº bicicletas	E. diária (KW)	E. mensal (KW)	E. anual (KW)
1	2.2	57.2	686.4
3	6.7	174.2	2 090.4
2	11.1	288.6	3 463.2
13	28.8	750.4	9 004.3

Fonte: Elaboração própria (2019)

Para estes valores de potencial energético, que são completamente dissipados vale estimar a energia elétrica que se pode produzir, após a converter desta energia mecânica humana.

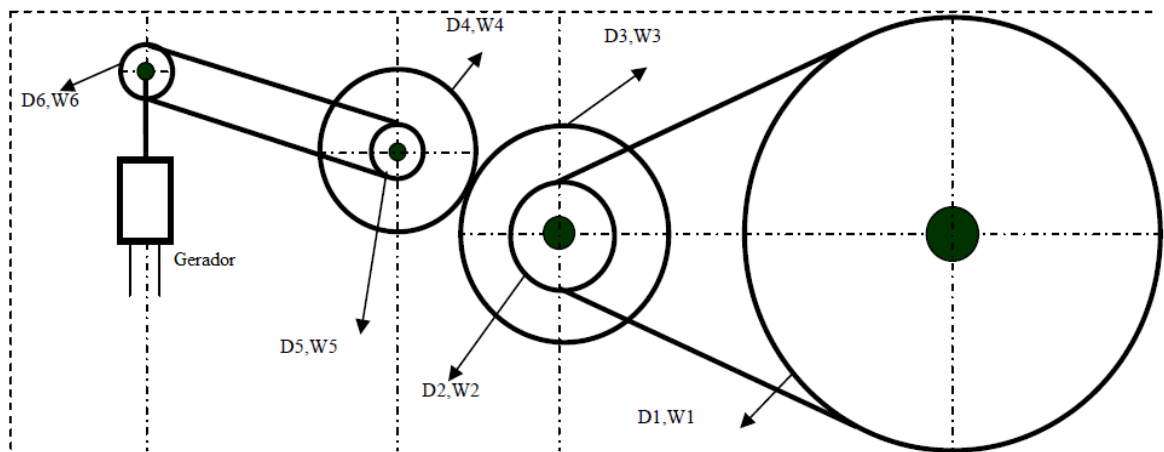
3.4. Dimensionamento do Sistema

Depois de considerar que o utilizador consegue manter uma rotação de 60 rpm, e a esta rotação estar associada uma energia cinética de 370 W. Sabe-se que esta rotação não é o suficiente para acionar um gerador, então faz-se necessário, uma caixa de engrenagens para multiplicar a velocidade de rotação e assim obter-se a rotação média suficiente para acionar o gerador e assim saber a quantidade de energia elétrica necessária para alimentar a carga.

Para dimensionar a caixa de engrenagens utilizou-se os parâmetros estimados pelos autores Yildiz, F. e Fahmy, M. (2009).

A Figura 3.23 mostra o esquema mecânico acoplado á bicicleta, a relação das velocidades.

Figura 3.23: Diagrama da relação de velocidades



Fonte: Yildiz, F. e Fahmy, M. (2009).

A razão entre os diâmetros da roda motriz e a roda pedaleira é dada pela equação:

$$IMA = \frac{D_{Driven}}{D_{Driver}} = \frac{W_{IN}}{W_{OUT}}$$

Em que:

IMA – razão entre os diâmetros;

D_{DRIVEN} - diâmetro da roda motriz;

D_{DRIVER} - diâmetro da roda pedaleira;

W_{IN} - Velocidade rotacional d entrada da roda ou polia;

W_{OUT} - Velocidade rotacional de saída da roda ou polia.

A tabela indica as dimensões dos componentes mecânicos do sistema.

Tabela 5: Dimensões dos componentes mecânicos.

Nº	Diâmetro (mm)
D ₁	508
D ₂	30
D ₃	254
D ₄	152.4
D ₅	50.8
D ₆	50.8

Fonte: Adaptada de Yildiz, F. e Fahmy, M. (2009).

As dimensões dos componentes são convertidas para centímetros. A relação entre a velocidade e o diâmetro de cada roda é calculada assim:

$$IMA_1 = \frac{D_2}{D_1}$$

Sendo,

D_n - Diâmetro da roda;

W_n - Velocidade de rotação da roda.

Com W₂ = W₃, W₄=W₅, temos,

$$IMA_1 = \frac{D_2}{D_1} = \frac{3}{50.8} = 0.06$$

$$IMA_2 = \frac{D_4}{D_3} = \frac{15.24}{25.4} = 0.6$$

$$IMA_3 = \frac{D_6}{D_5} = \frac{5.08}{5.08} = 1$$

$$IMA_{Total} = IMA_1 \times IMA_2 \times IMA_3 = 0.036$$

Portanto,

$$IMA_{Total} = \frac{W_{IN}}{W_{OUT}} \Leftrightarrow W_{OUT} = \frac{W_{IN}}{IMA_{Total}}$$

W_{IN} é a velocidade de rotação de entrada que foi considerada 60 rpm. Esta velocidade de entrada pode ser alterada conforme a velocidade da pedalada do utilizador.

$$W_{OUT} = \frac{60 \text{ rpm}}{0.036} \cong 1\,666 \text{ rpm}$$

A velocidade de saída do sistema mecânico como entrada para a unidade geradora foi de aproximadamente 1 666 rpm.

3.4.1. Gerador Escolhido

Para este trabalho o gerador precisa ser independente de alimentações elétricas externas, e deve permitir que uma pessoa comum consiga acioná-lo com facilidade. O gerador síncrono de íman permanente é a melhor opção pois pode ser utilizada sem que haja uma fonte de alimentação externa e é de fácil acionamento.

Escolheu-se um gerador de íman permanente de 1.5 KW, da empresa KingDao HENRYD, com o custo de 29 310\$00 ECV. A Tabela 6 apresenta as características do gerador.

Tabela 6: Características do gerador

Designação	Características
Marca	HENRYD
Potência	1.5 KW
Fases	3 Fases
Tensão de saída	24 V
Dimensões	370/185/185 (mm)
Torque de arranque	4.5 N.m
Peso Bruto	28 Kg
Rpm	380
Rendimento	40%

Fonte: Elaboração Própria (2019)

Figura 3.24: Gerador HENRYD



Fonte: www.alibaba.com (2019)

Para encontrar o rendimento no processo de geração de energia elétrica através deste gerador, e como atividade secundária, possibilitar a utilização desta energia. A fórmula básica para se calcular o rendimento deste processo é dada pela seguinte equação:

$$\eta = \frac{P_e}{P_p}$$

Onde,

η = Rendimento;

P_e = Potência elétrica gerada ou Energia Elétrica (W);

P_p = Potência desenvolvida pela pessoa ou Energia Cinética (W);

Calcula-se primeiramente a potência desenvolvida pela pessoa, que é a energia cinética do eixo antecedente ao gerador, que tem uma massa de 10 Kg, pela seguinte fórmula:

$$E_C = \frac{1}{2} \times m \times v^2$$

$$E_C = \frac{1}{2} \times 10 \times \left(\frac{1666}{60}\right)^2$$

$$E_C = 3\,854.9\,W$$

$$E_C = 3.86\,KW$$

Pela fórmula do rendimento e como o rendimento do gerador é 40%, temos:

$$E_{ELÉTRICA} = E_C \times \eta$$

$$E_{ELÉTRICA} = 3.86 \times 0.4$$

$$E_{ELÉTRICA} = 1.55\,KWh$$

Portanto a energia elétrica que cada utilizador pode gerar, em uma hora de exercício é 1.55 KWh.

3.5. Quantificação da energia elétrica produzida e sua utilização

Tendo em conta a utilização das bicicletas, para cada caso já mencionado faz-se a quantificação da energia elétrica produzida. Bem como a análise de qual situação de produção se adequa melhor ao consumo do ginásio.

- **Caso 1** – Aula de *Spinning* (13 pessoas durante 5 horas por semana).

A tabela 7 apresenta os dados referentes a energia elétrica gerada diária, mensal e anualmente.

Tabela 7: Energia elétrica gerada nas aulas *spinning*

	Energia
Diária	20.15 KWh
Mensal	523.9 KWh
Anual	6 286. 8 KWh

Fonte: Elaboração Própria (2019)

Neste caso em apenas uma hora de aula, utilizando as treze bicicletas equipadas com geradores de 1.55 KWh consegue-se produzir 20.15 KWh, o que supera o consumo diário do ginásio, que foi anteriormente estipulado para 18.38 KWh,

Assim sendo em apenas uma hora de trabalho irá se produzir toda a energia consumida num só dia e ainda obtém-se um excesso de energia á volta de 1.77 KWh que por sua vez poderá ser injetada na rede e estará sujeita a comercialização de energia prevista pela lei da microgeração.

É viável então dizer que, pela grande produção de energia haverá um abatimento dos custos do consumo energético do ginásio e ainda obter um retorno derivado de excesso de energia, isso fará com que os investimentos iniciais sejam amortizados rapidamente.

- **Caso 2** – diferente número de bicicletas em utilização durante seis horas por dia.

Tabela 8: Energia elétrica gerada pela utilização de diferente nº de bicicletas

Nº de bicicletas	E. diária	E. Mensal	E. Anual
1	9.3 KWh	241.8 KWh	2 901.6 KWh
2	18.6 KWh	483.6 KWh	5 803.2 KWh
3	27.9 KWh	725.4 KWh	8 704.8 KWh

Fonte: Elaboração Própria (2019)

Para este cenário com apenas uma bicicleta equipada com o sistema de conversão de energia, podemos gerar diariamente 9.3KWh durante as seis horas de utilização, praticamente 50% do consumo energético diário do ginásio. Com duas bicicletas gera-se praticamente o equivalente à quantidade de energia consumida, com um excedente de apenas 0.22 KWh e para três bicicletas tem-se um excedente de energia de 9.52 KWh.

Vale lembrar que para este necessário não é certo conseguir ter sempre pessoas a pedalar, ou poderá existir dias que não se consiga alcançar as seis horas diárias de utilização. Ainda ter em conta que estes valores de produção foram estimados apenas para cinco dias da semana (segunda-feira à sexta-feira), lembrando que o ginásio funciona no sábado de manhã por mais um período.

3.6. Análise da Viabilidade Económica

Para fazer análise da viabilidade económica primeiro calculou-se o valor que o ginásio paga à empresa concessionária de energia local. As tarifas praticadas no mercado são 38\$00 ECV/Kwh de energia.

Sabendo que o consumo médio anual de energia é de 551.7 Kwh, ao multiplicar este valor pela tarifa de mercado tem-se um custo médio de 20 964\$00 ECV mensais, e anualmente são 251 575\$00 ECV.

Os custos de produção do sistema de coleta de energia são apresentados na Tabela 9, e as respetivas quantidades por sistema unitário. Todos os componentes estão disponíveis no

mercado nacional, portanto os preços utilizados estão de acordo com o mercado, á exceção do gerador utilizado, que foi encontrado numa página de venda *online*.

Tabela 9: Custo de produção de um sistema

Qt	Componentes	Preços (ECV)
1	Gerador HENRYD	29 310\$00
1	Engrenagem grande com eixo	5000\$00
1	Engrenagem pequena sem eixo	1500\$00
1	Correia	500\$00
Total		36 310\$00

Fonte: Elaboração própria (2019)

Com a implementação do Caso 1, o custo total de construção de um único sistema é estimado em 36 310\$00 ECV, o que totaliza para as 13 bicicletas o valor de 472 030\$00 ECV.

O valor de energia que poderá ser poupado é estimado em cerca de 19 908\$00 ECV mensal e 238 898\$00 ECV anual. Para a manutenção do sistema estima-se um valor médio de 1000\$00 ECV mensais.

Para calcular o tempo de retorno do investimento, temos que:

$$\text{Amortização} = \frac{\text{Investimento Inicial} + \text{Custos de Manutenção}}{\text{Poupança Mensal}}$$

$$\text{Amortização} = \frac{472\,030\$00 + 1000\$00}{19\,908\$00}$$

$$\text{Amortização} \cong 23.76 \text{ meses} \cong 2 \text{ anos}$$

Para o Caso 2 a amortização será calculada apenas para o caso de ter duas bicicletas em funcionamento, com o valor poupado é de 18 376\$00 ECV mensais, cerca de 220 521\$00 ECV anuais.

Portanto a amortização é dada por:

$$\text{Amortização} = \frac{\text{Investimento Inicial} + \text{Custos de Manutenção}}{\text{Poupança Mensal}}$$

$$\text{Amortização} = \frac{472\,030\$00 + 1000\$00}{18\,376\$00}$$

$$\text{Amortização} \cong 25.7 \text{ meses} \cong 26 \text{ meses}$$

Capítulo IV

4. RESULTADOS FINAIS E DISCUSSÃO

Após a elaboração do estudo de caso, chegou-se a um conjunto de resultados ora apresentados, em resumo na Tabela 10.

Tabela 10: Resumo dos resultados obtidos

	INICIAL	CASO 1	CASO 2
Consumo Energético Médio	551.7 KWh	-----	-----
Potencial Energético	-----	4.2 KW/dia	6.7 KW/ dia
		109.2 KW/mês	174.2 KW/mês
		13104 KW/ano	2090.4 KW/ano
Energia Elétrica Gerada	1.55 KWh /Bicicleta	20.15 KWh/dia	18.6 KWh/dia
		523.9 KWh/mês	483.6 KWh/mês
		6286.8 KWH/ano	5803 KWH/ano
Componentes utilizados	-----	13 Geradores	2 Geradores
		26 Engrenagens	4 Engrenagens
		13 Correias	2 Correias
Custos mensais de energia	20 964\$00 ECV	-----	-----
Custos de investimento inicial	-----	472 030\$00 ECV	238 898\$00 ECV
Poupança de custos de energias	-----	19 908\$00 ECV	18 376\$00 ECV
Tempo de Amortização	-----	24 Meses	26 Meses

Fonte: Elaboração Própria (2019)

Analisando os dados do Caso 1, ir-se-á gerar praticamente toda a energia consumida diariamente pelo ginásio. O que enfraquece a materialização deste sistema é que este requer que as bicicletas praticamente não sejam movidas, ou que seja feito apenas por um profissional. No entanto devido à utilização do espaço das aulas *spinning* para o

funcionamento de outras aulas, as bicicletas são sempre movidas, sendo até parte destas movidas para uma área exterior.

Referentes ao Caso 2, os números de bicicletas propostas para estar em funcionamento podem ser mantidos na parte interna do ginásio, sem necessidade de serem movidas e sem perturbar o normal funcionamento deste. No caso de optar por duas bicicletas consegue-se gerar uma energia diária que ultrapassa o consumo diário do ginásio, gerando excedendo que poderá ser injetada na rede pública de energia, ganhando compensações da concessionária de energia, previstas na lei. Por exemplo em caso de o consumo ser superior á produção não acarretará custos adicionais.

5. RECOMENDAÇÕES

No final deste trabalho pode-se notar que a construção deste sistema não exige tecnologias nem equipamentos de difícil acesso, pois todos os componentes estão disponíveis no mercado nacional e a preços razoáveis. Esta tecnologia pode ser adaptada para menores ou maiores dimensões. Portanto esta tecnologia pode ser adaptada para outros ginásios com maior ou menores dimensões. Este método de aproveitamento e conversão de energia pode ainda ser feito em casa com uma bicicleta comum, sofrendo pequenas alterações, tendo como finalidade o carregamento de dispositivos eletrónicos.

Sugere-se à Universidade do Mindelo, devido ao fluxo de constante de alunos, que invista em algum dos equipamentos de conversão da energia humana para testes, como por exemplo as placas Pavegen. Que a partir deste estudo construa um sistema de conversão de energia com uma bicicleta comum para o carregamento de equipamentos eletrónicos.

Ao ginásio Energia em caso de montagem do sistema, tendo em conta o investimento, a logística e a amortização, o caso mais viável é ter em funcionamento duas bicicletas, e para que consiga mantê-las em funcionamento o mais tempo possível e gerar mais energia, poderá levar a cabo políticas que estimulem a utilização destas.

6. CONCLUSÃO

Este estudo foi feito mediante dados adotados de experiências de outros autores, pela falta de meios de medição de alguns parâmetros, como por exemplo qual a força real que um utilizador pode aplicar no pedal da bicicleta. Se for feita uma medição os dados para os dimensionamentos serão mais fidedignos e consequentemente os resultados mais próximos da realidade.

Perante esta conjuntura surgiu o tema deste trabalho que é a análise da microgeração da energia elétrica a partir do exercício físico, caso de estudo ginásio Energia. Este que é um ginásio local com cerca de 300 utilizadores diários, em média. Neste ginásio existem 13 bicicletas estacionárias e aulas de *spinning*, onde pessoas gastam muita energia. Portanto propôs-se a analisar o potencial desta energia dissipada e a melhor forma de fazer o seu aproveitamento, para a sua conversão em energia elétrica.

Pode-se concluir que os objetivos foram alcançados, o que é comprovado através dos resultados finais, que mostram que com uma única bicicleta, em uma hora, consegue-se produzir 1.55 KWh por dia. O sistema de aproveitamento e conversão desta energia custa 36 310\$00 ECV para um único sistema. A energia produzida pode ser aumentada com o aumento de horas de utilização das bicicletas, ou com a montagem de mais sistemas de conversão de energia conforme mostram os Casos 1 e 2. Para o caso 1 ter todas as bicicletas em funcionamentos como geradores de energia elétrica e o Caso 2 ter duas bicicletas em funcionamento. O primeiro caso com um investimento inicial de quase o dobro do caso 2, mas ambos com um período de amortização de aproximadamente dois anos. Em todos os casos é possível que o ginásio gere praticamente toda a energia que consome, podendo até gerar excedendo de energia.

Para além destes benefícios económicos este projeto contribui para a redução de impactes ambientais, contribuindo para a diminuição do consumo de energias fósseis. Ao provar a sua viabilidade e eficiência estimula outros ginásios a aproveitarem a energia que os seus utilizadores dissipam durante os seus treinos e incitar cada vez mais a prática de exercícios físicos.

Também pôde- se notar que a tecnologia de conversão é simples que pode ser feita por qualquer pessoa na sua casa a partir de uma bicicleta normal e esta gerar parte da energia que consome e contribuir na redução das emissões de CO₂.

Este estudo sendo o primeiro feito nesta universidade servirá de base para futuros trabalhos acadêmicos, tanto para esta tecnologia de conversão, como também para despertar o interesse na microgeração humana explorando outras tecnologias de conversão.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) Antunes, E. Sousa, M. e Schertel, M. (2014). *Piso que transforma energia mecânica em eletricidade*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Escola de Engenharia.
- 2) Abrams, M. (2012). *James Watt – Biography*. The American Society of Mechanical Engineers Disponível em: <<https://www.asme.org/engineering-topics/articles/energy/james-watt>>. Consultado em: 08 de Novembro de 2018, às 22:30.
- 3) Boletim Oficial da República de Cabo Verde. (2019). Resolução nº 39/2019 de 8 de Abril. I Série. Nº 40. Pág. 704 - 711
- 4) Boletim Oficial da República de Cabo Verde. (2018). Decreto – Lei nº 54/2018 de 15 de Outubro. I Série. Nº64. Pág 1576 – 1582.
- 5) Brito, J. (2008). *Política Energética de Cabo Verde*. Ministério da Economia Crescimento e Competitividade.
- 6) Castro, Rui, (2012). *Uma Introdução às Energias Renováveis: Eólica, Fotovoltaica e Mini-hídrica*. IST Press. 2ª Edição. Portugal
- 7) Cardoso, N. (2009). *Aproveitamento do Exercício Físico como Fonte de Energia Renovável*. Tese de Mestrado em Engenharia Eletrónica e Telecomunicações. Universidade de Aveiro, Aveiro.
- 8) CvTradeInvest. (2019). *Informações sobre o Setor da Energia em Cabo Verde*. Disponível em: <https://cvtradeinvest.com/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/2018/03/Infografia_sector_da_energia2.pdf>, Consultado em Junho 2019
- 9) Chapman, S. (2005). *Electric Machinery Fundamentals*, 4ª Ed., Mc Graw Hill
- 10) Da Silva, D.; Castro, D.; Castro, R.; Pêna, W.; Rosado, D, e Leite, C. (?). *A prática do Spinning e os seus benefícios: a prática desenvolvida em uma academia do município de Ponte Nova/MG*. Disponível em: <<https://even3.blob.core.windows.net/anais/135917.pdf>>. Consultado em: Junho de 2019, às 10:40.
- 11) Dias, N. (2010). *Sistema computacional de apoio à microgeração baseada em movimentos naturais*. Universidade Nova de Lisboa.

- 12) Donelan, J.M., Li, Q., Naing, V., Hoffer, J.A., Weber, D.J., Kwo, A.D., (2008). *Biomechanical Energy Harvesting: Generating Electricity during Walking with Minimal User Effort*. Science, 319(5864): Pág. 807-810.
- 13) Enerdata, Disponível em: <<https://yearbook.enerdata.net/>> Consultado em: Junho de 2019, 14:50
- 14) Exxonmobil. (2018). *Outlook for Energy*. Disponível em: <<https://corporate.exxonmobil.com/en/Energy-and-environment/Energy-resources/Outlook-for-Energy/Energy-demand#energyDemandProjections>>. Consultado em Junho 2019, às 22:30
- 15) Ezshopex.com. (2019). Disponível em <<http://ezshopex.com/office-electronics/ampy-move-motion-charger.html>>. Consultado em: Junho de 2019, às 18:30.
- 16) Fitzgerald, A. E., Junior, C. K., Umans, S. D.; *Electric Machinery*, 6ª Ed., Mc Graw-Hill.
- 17) Gonzaga, R. (2014). *Caracterização Piroelétrica do Polímero Fluoreto de Polivinilideno (PVDF)*. Universidade federal de Alfenas (UNIFAL) – Minas Gerais
- 18) InterAcademy Council (IAC), (2007). IAC report: *Lighting the way, toward a sustainable energy future*. Amsterdam, Netherlands.
- 19) Kickstarter. (2019). *SolePower: Power by walking*. Disponível em: <<https://www.kickstarter.com/projects/764467377/solepower-power-by-walking-0>> Consultado em: Junho de 2019, às 19:50.
- 20) Khan A., Alam T., Abir, M. e Ullah. (2013). *Harvesting Human Exercise Power Using Gymnasium Bicycle*. Vol. 9, pp. 96–99
- 21) Kosow, I. L. *Máquinas Elétricas e Transformadores*. 4ª ed. Rio de Janeiro: Editora Globo, 1982.
- 22) Lenz, A. L. (2013) *Máquinas Elétricas de ímãs permanentes*. Disponível em: <<http://automoveiseletricos.blogspot.com/2013/12/maquinas-eletricas-de-imas-permanentes.html>>. Consultado em Novembro de 2018, às 14:50.
- 23) Mocanu, S., Ungureanu, A., Varbanescu, A. Mocanu, S., Ungureanu, A., Varbanescu, A. (2015). *Bike-Powered Electricity Generator*. Asia Pacific Journal of Multidisciplinary Research, Vol. 3
- 24) Morton, D. (1952). *Human Locomotion and Body Firm*. Williams & Wilkins, Baltimore.

- 25) Osorio, A. (2007). *Generador eléctrico accionado por fuerza humana: una nueva alternativa de generación de energia*. ContactoS 65, 13 – 15. Academia de Ingeniería Mecánica Elétrica, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- 26) Union of Concerned Scientists, (2016). *A Short History of Energy*. Disponível em: http://www.ucsusa.org/clean_energy/our-energy-choices/a-short-history-ofenergy.html#.Vg54pn0XfCQ,
- 27) Completo, A. e Fonseca, F. (2011). “*Fundamentos de biomecânica. Músculo-Esquelética e Ortopédica*”, 1ª Ed., Publindústria
- 28) Sachs, I. (2007). *A revolução Energética do séc XXI*. Estudos Avancados 21 (59).
- 29) Starner, T. Paradiso, J. (2004). Human Generated Power for Mobile Electronics, in Low Power Electronics Design. CRC Press. Pag. 1-35
- 30) Teixeira, C. A. (2014). *Campo de futebol no Morro da Mineira é precursor em geração de eletricidade*. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/economia/campo-de-futebol-no-morro-da-mineira-precursor-em-geracao-de-eletricidade-13915008>>. Consultado em: Junho de 2019, às 00:03
- 31) Yildiz, F. e Mohammed, F. F. (2009). *Self Powered Fitness Equipment*. Volume 10.
- 32) Zyga L. (2012). *Self-charging battery both generates and stores energy*. Phys.org.

Figuras

- 1) Figura 2.1 - Elkkon Engenharia. *Fontes de Energia*. Disponível em: <<https://elkkon.com.br/modelo-3/fontes-de-energia/>>. Consultado em: Maio de 2019, às 12:00
- 2) Figura 2.2 – Elkkon Engenharia. *Energia elétrica e os seus caminhos*. Disponível em: <<https://elkkon.com.br/modelo-3/>>. Consultado em: Maio de 2019, às 21:30
- 3) Figura 2.3 – Enerdata Global Energy Statistical Yearbook 2018. *Total Energy Production*. Disponível em: <<https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-energy-production.html>> Consultado em: Junho de 2019, às 17:00
- 4) Figura 2.4 – Enerdata Global Energy Statistical Yearbook 2018. *Share of renewables electricity production*. Disponível em:

- <<https://yearbook.enerdata.net/renewables/renewable-in-electricity-production-share.html>> Consultado em: Junho de 2019, às 19:00
- 5) Figura 2.5 - Enerdata Global Energy Statistical Yearbook 2018. *Electricity domestic Consumption*. Disponível em: <<https://yearbook.enerdata.net/electricity/electricity-domestic-consumption-data.html>> Consultado em: Junho de 2019, às 19:30
- 6) Figura 2.6 – ExxonMobil. (2018). *Energy Demand*. Disponível em: <<https://corporate.exxonmobil.com/en/Energy-and-environment/Energy-resources/Outlook-for-Energy/Energy-demand#electricityAndPowerGenerationProjections>> Consultado em: Junho de 2019, às 20:00.
- 7) Figura 2.14 – Ezshopex. Disponível em: <<http://ezshopex.com/office-electronics/ampy-move-motion-charger.html>> Consultado em: Junho de 2019, às 23:45.
- 8) Figura 2.15 – Kickstarter. Disponível em: <<https://www.kickstarter.com/projects/764467377/solepower-power-by-walking-0>>. Consultado em: Novembro de 2018, às 16:30.
- 9) Figura 2.18 – GreeMe Farei Bem à Terra. *FreeBike*. Disponível em: <<https://www.greenme.com.br/component/search/?searchword=free%20bike&searchphrase=all&Itemid=101>> Consultado em: Novembro de 2018, às 15:30.